

**РАЗРАБОТКА СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО И
ТРАНСПОРТИРУЕМОГО СЫРЬЯ С РЕЗИНОВЫМИ
ПОКРЫТИЯМИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА**

**Настоящий В.А.¹, к.т.н., проф., Яцун В.В.¹, к.т.н., доц.,
Джирма С.А.¹, к.т.н., доцент, Чижик Е.Ф.², к.т.н., с.н.с.**

¹Кировоградский национальный технический университет, Украина

²Научно-производственное предприятие "Механобр-Полимет",
Днепропетровск, Украина

В настоящее время в сооружениях и конструкциях предприятий горно-металлургического комплекса в качестве материала элементов покрытий и футеровок рудоспусков, бункеров, перепусков внедряются износостойкие резины на основе натурального и синтетического каучуков. Отличительной особенностью резиновых покрытий и футеровок конструкций и оборудования являются высокая надежность и долговечность, удобство в обслуживании и снижение травматизма, высокие вибро- и звукоизолирующие свойства.

Широкое распространение получила конструкция защитных покрытий и футеровок, предусматривающая крепление резиновых плит к поверхности с помощью резиновых брусков (рис.1).

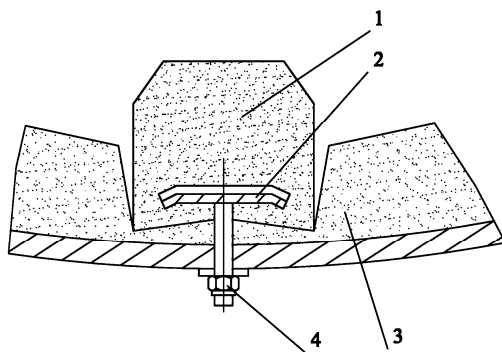


Рис. 1. Схема крепления резиновых футеровок: 1 – цельнорезиновый брусок; 2 – прижимная скоба; 3 – футеровочные плиты; 4 – крепежный болт

Дальнейшее внедрение гуммированных конструкций зачастую сдерживается отсутствием методик инженерных расчетов резиновых элементов, применяемых в качестве покрытий и футеровок, а механическое использование методик, разработанных для металлических элементов, является совершенно неправомерным.

Целью настоящего исследования является обоснование синергетической модели взаимодействия перерабатываемого и транспортируемого сырья с резиновой футеровкой, так как для инженерных расчетов необходима модель, адекватно отображающая все физико-механические эффекты, происходящие в зоне контакта загрузка-футеровка. Только исследование основных закономерностей и эффектов позволит получить теоретико-экспериментальную информацию, необходимую для расчета и создания износостойких и долговечных резиновых футеровок. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить взаимосвязанные между собой задачи.

1. Первая задача предусматривает изучение особенностей механизмов разрушения резиновой футеровки в рудопусках, бункерах, перепусках.

2. Вторая задача ставит своей целью выявить и исследовать основные закономерности и эффекты, сопровождающие движение загрузки, особенно в зоне контакта загрузка-футеровка.

Процесс разрушения футеровки имеет пространственную форму и осуществляется во времени, от нескольких часов до нескольких лет. Сам процесс разрушения является частью более общего процесса – взаимодействия футеровки с технологической загрузкой, и поэтому является функцией многих переменных: геометрических размеров оборудования, высоты падения и особенностей перерабатываемого материала (абразивность, крупность куска), геометрической формы резиновой футеровки, физико-механических характеристик резины и т.д. Поэтому разрушение можно считать процессом многовекторным, стохастическим и нелинейным. Изменение одного из параметров системы, например, высоты падения может привести и к изменению характера разрушения футеровки. Имеется еще одно весьма важное обстоятельство: в силу специфики работы оборудования моделирование происходящих в них процессов встречает ряд экспериментальных трудностей, иногда непреодолимых. Поэтому об этих процессах приходится судить косвенно, т.е. исследовать последствия их проявлений; например, о механизме износа судить по морфологии поверхности разрушения и степени износа элементов футеровки и т.д.

Процесс взаимодействия резиновой футеровки и перерабатываемого материала, несмотря на кажущуюся простоту физической модели,

изучен совершенно недостаточно. Трудность объясняется, прежде всего, нелинейностью и стохастичностью процесса, взаимным влиянием многих факторов – геометрических, физико-механических, химических, – трудностью проведения экспериментальных работ в натурных условиях. Однако накопленный опыт эксплуатации конструкций и оборудования с резиновой футеровкой, в том числе и с участием авто-ров [1, 2, 3, 4], позволила установить ряд общих закономерностей, которые широко используются в инженерном деле:

1. Основными факторами, вызывающими разрушение резиновой футеровки, являются: ударная нагрузка, абразивный или абразивно-усталостный износ и агрессивное влияние перерабатываемой среды.

2. Удар является одной из важных составляющих разрушающего действия крупнокускового материала и измельчающих тел. Максимальный износ резиновой футеровки имеет место при углах соударения кусков с поверхностью близких к $20-30^{\circ}$ (рис. 2), а минимальный – при углах, близких к 90° . Поэтому форма резиновых элементов футеровки должна быть такой, чтобы угол встречи всегда был не менее 70° . Большое влияние на процесс разрушения футеровки от ударных нагрузок оказывает скорость встречи крупных кусков и шаров с ее поверхностью. Следует подчеркнуть, что именно на долю ударных нагрузок приходятся такие разрушения как сколы, вырывы материала, глубокие трещины от внедрения в резиновый массив острых граней и т.д.

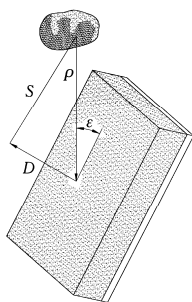


Рис. 2. Схема, поясняющая возникновение сдвиговой силы при малом угле удара

Как известно при транспортировании, загрузке и перегрузке крупные куски материала поднимается на определенную высоту, после чего падает вниз. Резиновая футеровка при этом в зоне контакта подвергается действию ударных нагрузок и интенсивному изнашиванию.

На рис. 3 показано взаимодействие футеровки с крупным куском материала. Как видно, при малых толщинах футеровки возможен ее

"пробой" и повреждение металлической оболочки конструкции. Поэтому остаточная толщина изношенных в процессе эксплуатации резиновых элементов футеровки регламентируется специальными нормами, выработанными при длительной эксплуатации конкретных конструкций футеровок.

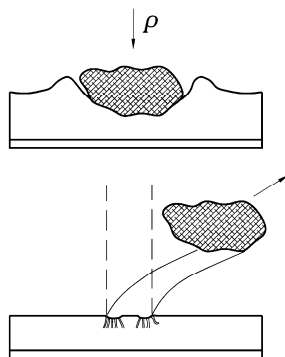


Рис. 3. Схема, показывающая, что амортизирующий эффект снижает износ

Так, например, с участием авторов, для резиновых футеровок получены следующие рекомендации по критериям отказа:

- остаточная толщина плит в зоне максимального износа должна составлять: при кусках руды до 500 мм и высоте падения 4-5 м – не более 30-40 мм; при кусках руды 1000-1400 мм и высоте падения 6-7 м – не более 40-50 мм;

- во всех случаях применения резиновой футеровки остаточную толщину плит можно принимать такой, чтобы в зоне максимального износа над металлической арматурой оставалась толщина резины не менее 5 мм.

3. Абразивный и абразивно-усталостный износ резиновой футеровки обусловлен, в основном, проскальзыванием загрузки в различных зонах футеровки (эффект контакта) и действием ударных нагрузок при падении с высоты измельчающей среды и трения между слоями технологической загрузки (каскадный эффект). Скорость износа футеровки зависит от многих факторов. Среди них: геометрические размеры конструкции, конструкция и геометрические размеры резиновой футеровки, тип резины, физико-механические свойства перерабатываемого материала и т.д.

За критерий износостойкости обычно принимают скорость изнашивания, т.е. уменьшение толщины футеровки за один час работы. Так

для одинаковых условий для футеровок из традиционных резин этот показатель равен примерно 0,001-0,004 мм/ч; для металлических – колеблется в пределах 0,008-0,012 мм/ч.

4. Влияние агрессивной среды на долговечность резиновой футеровки изучено совершенно недостаточно. Практика показывает, что используемые резины хорошо противостоят агрессивному влиянию перерабатываемых материалов горно-металлургической и строительной промышленности. Отмечается, что с повышением температуры влияние агрессивной среды усиливается. Так, работоспособность футеровки на основе СКИ-3 существенно уменьшается при высокой температуре среды ($>105^{\circ}\text{C}$) и водородного показателя pH (250-280 г/л щелочи).

Температура в зоне контакта сама по себе может оказать отрицательное влияние на долговечность футеровки.

Как видно, при подборе рациональной конструкции резиновой футеровки следует использовать союз технологов и конструкторов, так как при неправильном выборе параметров конструкции, фактором, определяющим долговечность футеровки, может стать интенсивный износ, скорость которого может существенно возрасти при действии температурного поля в зоне контакта и агрессивного влияния среды.

Нарушение технологии изготовления плит, а также использование несоответствующей марки резины может привести к резкому снижению долговечности до отказа отдельных плит (принцип локальности разрушения, обусловленный стохастической природой прочности резины) или всей футеровки в целом. При этом может измениться и сам характер разрушения: интенсивный износ может привести к катастрофическому разрушению резиновых плит, вплоть до отделения от массива макроскопических частиц.

Однако для резины в отличие от металла помимо износа важную роль будет играть также удар (особенно при переработке и транспортировании материалов больших размеров, падающих со значительной высоты) и вдавливание крупных кусков материала в футеровку. Основным же механизмом разрушения резиновой футеровки следует считать абразивно-усталостный износ. Длительная практика эксплуатации резиновых футеровок свидетельствует о том, что более правильным следует считать наличие в зоне контакта всех трех механизмов нагружения: удара, вдавливания и абразивного износа. Поэтому будет наблюдаться ударно-абразивно-усталостное разрушение резины. В дальнейшем будем использовать общепринятый термин "абразивно-усталостный износ", хотя известно, что при длительной эксплуатации резиновой футеровки (2-3 года) доминирующим все же является уста-

лостный механизм разрушения с явными признаками временных изменений физико-механических параметров резины за счет эффектов старения.

Заключение

Суммируя имеющуюся экспериментально-аналитическую информацию синергетическую модель взаимодействия сегмента технологической загрузки с резиновой футеровкой представим в виде следующих кратких обобщений.

1. Разрушение резиновой футеровки имеет довольно сложную пространственно-временную форму и зависит от целого ряда факторов, интенсивность проявления которых определяется законом случайностей, в частности законом нормального распределения ошибок (кривая Гауса). Наиболее известные факторы разрушения следующие: абразивно-усталостный износ, разрушения от вдавливания и ударных нагрузок. Важную роль при этом играет усталостная повреждаемость материала, а при длительной эксплуатации и старение, т.е. изменение во времени основных физико-механических характеристик резины. При этом принцип эмерджентности имеет довольно существенное влияние, т.к. сочетание двух или трех факторов (например, абразивно-усталостного износа, усталостной поврежденности объеме резины и высокой температуры нагрева), их одновременное действие может привести к катастрофическому разрушению резиновой футеровки. Большое влияние при этом оказывает внешняя агрессивная среда, температура нагрева перерабатываемой среды и температура в зоне контакта футеровка – загрузка; резина может устойчиво работать лишь при температурах меньших 80-90⁰С.

2. В процессе эксплуатации конструкций и оборудования геометрические параметры резиновой футеровки не остаются постоянными, прежде всего, вследствие абразивно-усталостного износа. Изменение параметров носит случайный характер и непосредственно связано с детерминированным многомерным хаосом и характеризуется сложным пространственно-временным поведением. Тем не менее, при разрушении футеровки (в основном ее износе; вырывы, сколы материала, глубокие трещины можно рассматривать как случайные повреждения) наблюдается определенная закономерность, свидетельствующая о существовании некоторой формообразующей тенденции, характеризующейся определенной универсальной постоянной. Об этом свидетельствует форма износа элементов футеровки, например в виде речного узора и т.д. Разрушение как нелинейный вероятностный процесс создает

множество форм изношенности плит футеровки, что не позволяет использовать для их описания одну математическую функцию.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемая синергетическая модель взаимодействия перерабатываемого материала и резиновой футеровки не лишена недостатков; по мере увеличения экспериментальной информации будет совершенствоваться и модель.

Summary

The work gives grounds to the synergetic model of the feed and transported stock cooperation with rubber lining of designs. It represents physical and mathematical effects that take place in the contact zone load lining. It is given theoretical and experimental data necessary for designing wearproof and durable rubber lining.

Литература

1. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования / А.А. Тарасенко, Е.Ф. Чижик, А.А. Взоров, В.А. Настоящий. – М.; Недра, 1985. – 204 с.
2. Чижик Е.Ф., Дырда В.И. Феноменологическая модель разрушение резины при абразивно-усталостном износе // Геотехническая механика. – 1999. – № 11. – С. 226-257.
3. Джирма С.А., Настоящий В.А., Тарасенко А.А. К вопросу прогнозирования долговечности резиновых поверхностей измельчительного и транспортного оборудования работающих в условиях ударно-абразивного износа // Вибрация в технике и технологиях. – 1998. – №3. – С. 68-69.
4. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц / Франчук В.П., Настоящий В.А., Маркелов А.Е., Чижик Е.Ф. – Комсомольск-Кременчук; Науково-виробниче видання, 2008. – 382 с.